На правах рукописи

Заму

ЗАМАТЫРИНА Валентина Алексеевна

МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОБЕНТОНИТА

Специальность 03.02.08 – экология (в химии и нефтехимии)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Пенза – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» на кафедре «Экология».

Научный руководитель –	доктор технических наук, доцент **БОБЫРЕВ Сергей Владимирович.**
Официальные оппоненты:	**СВЕРГУЗОВА Светлана Васильевна,** доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», заведующая кафедрой «Промышленная экология»; **ЖУРАВЛЕВА Людмила Леонидовна,** доктор технических наук, доцент, ФГУ «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии», ведущий научный сотрудник
Ведущая организация –	ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

Защита состоится 17 апреля 2015 г., в 13 часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» и на сайте www.penzgtu.ru.

Автореферат разослан 27 февраля 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета **Коростелева Анна Владимировна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Экологическая проблема загрязнения гидросферы сточными водами становится все более актуальной во всем мире, в том числе и в России. Для Саратовской области решение этой проблемы имеет особое значение, поскольку ежегодный общий объем сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты, составляет более 200 млн. $м^3$, из них неочищенных и сильно загрязненных ~112 млн. $м^3$. Наибольшая экологическая опасность сточных вод связана с присутствием в них тяжёлых металлов, нефтепродуктов, различных химических соединений, а также патогенных и условно-патогенных микроорганизмов.

Среди современных методов очистки сточных вод большое значение имеет сорбционная очистка, эффективность которой определяется качеством сорбента. Создание комбинированных сорбентов нового поколения, позволяющих эффективно удалять тяжелые металлы и нефтепродукты из сточных вод и обеспечивающих их дезинфекцию, а также разработка метода использования таких сорбентов для очистки сточных вод, является актуальной научной задачей, решение которой имеет большое прикладное значение.

Цель исследования – разработка метода очистки сточных вод от тяжёлых металлов и нефтепродуктов, обеспечивающего дезинфекцию сточных вод, с использованием модифицированного органобентонита.

Для достижения цели сформулированы и решены следующие **задачи**.

1. Исследование физических (пористость, плотность, сорбционные характеристики) и механических (пластичность, прочность) свойств органобентонита и его модифицированных форм.

2. Оценка антибактериальных свойств катионных и анионных поверхностно-активных веществ с четвертичным ионом азота и выбор наиболее перспективного соединения для создания модифицированного сорбента с дезинфицирующими свойствами.

3. Разработка сорбента на основе органобентонита, модифицированного дезинфектантом, и изучение его антимикробных свойств на модельных растворах микроорганизмов.

4. Разработка метода использования полученного сорбента для дезинфекции сточных вод и очистки их от тяжёлых металлов и нефтепродуктов.

5. Проведение сравнительных испытаний эффективности вариантов созданного сорбента при очистке загрязненных сточными водами природных поверхностных вод в лабораторных условиях.

6. Проведение промышленных испытаний эффективности модифицированного органобентонита в качестве сорбента в фильтрующих системах станции очистки сточных вод «ЛИССКОН-301».

Объекты исследования: исходный и гранулированный органобентонит; поверхностно-активные вещества (ПАВ): алкапав, септапав, катапав и их иодированные формы; адсорбент на основе органобентонита и иодированного ПАВ; сточные воды предприятий филиал ГУП Саратовской области «Облводоресурс» – «Красноармейский» и ОАО «Кирсановское ЛПУ»; вода загрязненных поверхностных источников Саратовской области (ручьи, малые реки и пруды).

Предмет исследования – процесс очистки загрязненных поверхностных и сточных вод с использованием разработанного сорбента – модифицированного

органобентонита с учетом его физико-химических, механических и антимикробных характеристик.

Методы исследования: спектрофотомерия, фотометрия, электронная микроскопия, методы санитарно-гигиенической оценки качества воды; методы статистической обработки экспериментальных данных.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Впервые установлены характеристики эффективности адсорбции ионов тяжелых металлов на полученном сорбенте, которые включают в себя: статическую обменную емкость (*COE*), динамическую обменную емкость (*DOE*), коэффициент межфазного распределения (K_d), степень сорбции (*S*).

2. Впервые исследованы механизмы адсорбции ионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} на модифицированном органобентоните в статических и динамических условиях, показано, что характерным механизмом сорбции является мономолекулярная адсорбция, т.е. происходит формирование смешанных слоев адсорбата на поверхности адсорбента.

Практическая значимость результатов работы состоит в следующем.

1. Разработана технология получения гранулированных форм модифицированного органобентонита для использования его в типовых установках очистки сточных вод в качестве фильтрующей загрузки систем на станциях очистки сточных вод, позволяющих снизить концентрации ионов Cd^{2+} на 18%, ионов Cu^{2+} – на 30%, ионов Pb^{2+} – на 58%, ионов NO_3^- – на 85% и полную дезинфекцию воды (общее микробное число = 0).

2. Разработан метод очистки загрязненных стоков с помощью полученного сорбента комплексного действия, позволяющий при загрузке модифицированного органобентонита в фильтрующие системы локальных станций очистки сточных вод снизить концентрации нефтепродуктов на 95%, тяжелых металлов – на 55%, общего железа – на 57%, азотистых соединений – на 55 %, фосфатов – на 52%, БПК – на 15%, и обеспечивающий полную дезинфекцию воды (общее микробное число = 0). Материал апробирован при загрузке фильтрующих систем станции очистки сточных вод «ЛИССКОН – 301».

Реализация и внедрение результатов работы.

Исследование выполнено в рамках разработки инновационного проекта по персональному гранту Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К.» на выполнение НИР «Технология получения биологически активного органобентонита и перспективы его использования» (ММТТ – 25, 2011–2012); Госзадания «Совершенствование технологий мониторинга и прогнозирования состояния антропогенно нарушенных территорий, предотвращения и ликвидации их загрязнений» (НИР ОНН СГТУ, 2012–2014); ФЦП «Разработка инновационной IT-методологии мониторинга и прогнозирования состояния экосистем в условиях повышенной антропогенной нагрузки» (СГТУ-7, 2012–2013).

Разработанная технология отмечена дипломами 7 и 8 Саратовских салонов изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2012, 2013); Фестиваля науки (Саратов, 2013, 2014), серебряной медалью на X Международном форуме «Крым Hi-tech» (Севастополь, 2014).

Разработанный инновационный сорбент внедрен в ООО «Научно-производственное предприятие «ЛИССКОН», г. Саратова, производящем локальные станции очистки воды, а также в качестве фильтрующих загрузок станции очистки сточных вод «ЛИССКОН-301» на предприятиях филиал

ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский» (Саратовская область) и «Кирсановское ЛПУ» (Тамбовская область).

Результаты исследований используются в учебном процессе кафедры экологии Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. по курсу дисциплин: «Физико-химические методы экологических исследований», «Прикладная экология», «Химия и экология нефти», а также при написании дипломных проектов и магистерских работ по направлению «Экология и рациональное природопользование».

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием гостированных методов исследования, аттестованных и поверенных приборов и оборудования; однородной и представительной выборкой результатов экспериментов, позволяющей судить о сходимости и воспроизводимости представленных данных; сравнением и соответствием результатов работы результатам по рассматриваемой тематике, полученными ранее другими авторами; публикацией результатов работы в рецензируемых научных изданиях и апробацией на конференциях различного уровня.

Личный вклад автора состоит в анализе научно-технической литературы, постановке экспериментальных исследований, анализе и статистической обработке полученных данных, формулировании общих выводов; апробации полученных результатов и подготовке публикаций по выполненной работе. Научному руководителю принадлежит разработка концепции решаемой проблемы и постановка задач исследования. Полевые и экспериментальные исследования выполнялись автором лично или при непосредственном участии в составе научной группы в период с 2011 по 2014 гг.

На защиту выносятся.

1. Физические (пористость, плотность, сорбционные характеристики) и механические (прочность, пластичность) свойства органобентонита и его модифицированных форм.
2. Доказательства антибактериальных свойств катионных и анионных поверхностно-активных веществ с четвертичным азотом по отношению к стокам, содержащим микроорганизмы, и обоснование использования алкапава для конструирования модифицированного сорбента с дезинфицирующими свойствами.
3. Технология получения сорбента на основе модифицированного органобентонита.
4. Метод использования разработанного сорбента для очистки сточных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов с дезинфекцией сточных вод.
5. Доказательства эффективности использования модифицированного органобентонита в качестве сорбента для очистки загрязненных стоками поверхностных водных объектов Саратовской области и сточных вод предприятий на локальных станциях очистки «ЛИССКОН-301».

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены и обсуждены на следующих научных конференциях и форумах: II Всероссийской научно-практической конференции «Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания» (Саратов, 2011); XXV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25» (Саратов, 2012); всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области биологических наук (Ульяновск, 2012); VII и VIII Саратовских салонах изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2012,

2013); 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2013); Международных симпозиумах "Ökologische, Technologische und Rechtliche aspekte der Lebensversorgung (Германия, Ганновер, 2013, 2014); Международной научно-практической конференции «Биотехнология: реальность и перспективы в сельском хозяйстве» (Саратов, 2013); Международной молодежной научной конференции «Человек, экология, культура: современные практики и проблемы» (Саратов, 2014); II всероссийской конференции «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России» (Москва, 2014); Международной конференции по вопросам водопользования и экологии в рамках участия РФ в БРИКС (Москва, 2014); X Международном форуме «Крым Hi-tech» (Севастополь, 2014); международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения – 2014» (Саратов, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 4-х разделов собственных исследований, заключения, списка использованных источников из 130 наименований и трех приложений, включающих 26 рисунков. Работа изложена на 116 страницах, включает 27 рисунков, 32 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во ***введении*** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, отражены научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, описаны структура, объем и внедрение результатов работы.

В ***первом разделе*** (литературный обзор) приводится анализ публикаций, монографий, статей отечественных и зарубежных авторов, посвящённых современным сорбционным методам очистки сточных вод; характеристике сорбентов, используемых в отечественной и зарубежной практике водоочистки. Проанализированы имеющиеся данные о свойствах органобентонита, основных способах его получения и применения в разных отраслях промышленности.

Во ***втором разделе*** представлены описания объектов исследований, методологии и методов исследования.

Физические, механические и химические свойства исходного органобентонита и модифицированных форм сорбентов на его основе (плотность гранул, пористость, дисперсность, пластичность и др.) исследовались методами: рентгенофазовым, рентгенофлуоресцентным, низкотемпературной адсорбции азота, с применением современного оборудования: дифрактометр ДРОН-4, анализатор сорбции газов Quantachrome NOVA 4200e, автоматизированная система АСОД-300. Определение сорбционной емкости гранул проводилось с применением модельных растворов K_2HAsO_4, $K_2Cr_2O_7$, $Fe_2(SO_4)_3$, гуматов разных концентраций.

Определение органолептических (прозрачность воды, запах, цветность мутность) и гидрохимических показателей (рН, щелочность и жесткость воды, перманганатная окисляемость, содержание растворённого кислорода, $БПК_5$, $БПК_{общ.}$, ХПК); содержания анионов и катионов (Cl^-, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{-2}, $Fe_{общ.}$); присутствия фенолов, ПАВ, нефтепродуктов, сухого остатка происходило по соответствующим аттестованным гостированным методикам.

Микробиологические исследования включали определение общего микробного числа (ОМЧ), содержания общих колиформных бактерий (ОКБ) в пробах воды в соответствии с МУК 4.2671-97. Антимикробная активность ПАВ и модифицированного органобентонита оценивались по числу колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий, выросших на чашках Петри с питательной средой при посеве исходных проб воды и их фильтратов. Сравнительный анализ проводился по значениям КОЕ на 1 мл воды.

Использованы современные методы обработки исходной информации с помощью пакета программ Statistica for Windows 6.0 и оценки достоверности по t-критерию Стьюдента и с применением дисперсионного анализа. Статистические результаты считались достоверными при $p<0{,}05$.

В ***третьем разделе*** приведены результаты собственных исследований и их обсуждения: изучения структуры и свойств органобентонита, структуры и антимикробных свойств различных ПАВ, разработки технологии конструирования сорбента на основе модифицированного органобентонита, интеркалированного ПАВ.

В исследованиях использовался органобентонит с удельной поверхностью 122,0 $м^2$/г, общей пористостью 0,321 $см^3$/г производства фирмы «Консит-А». Установлены основные физические (плотность, пористость, дисперсность) и механические (пластичность, прочность) свойства органобентонита (таблица 1). Анализ его структуры (рисунок 1) позволил сделать предположение о возможности внедрения молекул полимера или активных компонентов (например, бактерицидных препаратов).

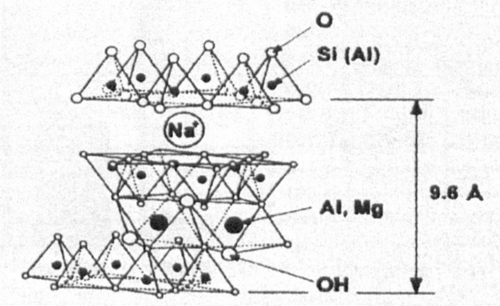


Рисунок 1 – Элементарная ячейка монтмориллонита (Герасин и др., 2007)

Таблица 1 – Показатели физико-химических и структурно-механических свойств органобентонита и его композиций

	Плотность, $г/см^3$	Порис-тость, %	Пластич-ность, %	Дисперс-ность, %	Прочность*	
					Измельчае-мость, %	Истирае-мость, %
Исходный органобентонит	2,68±0,02	43,6±0,1	38,6±0,3	60,1±2,5	2,12±0,2	0,23±0,1
Органобентонит и алкапав	3,95±0,02	35,7±0,1	36,4±0,3	57,5±2,5	1,3±0,2	0,22±0,1
Органобентонит и иодированный алкапав	4,07±0,02	32,4±0,1	37,6±0,3	58,3±2,5	2,0±0,2	0,21±0,1

* – по ГОСТу не более 4% (измельчаемость) и не более 0,5% (истираемость).

Выбор варианта ПАВ как перспективного компонента модифицированного сорбента

В ходе исследований проведен выбор варианта ПАВ в качестве перспективного компонента сорбента с комплексными свойствами. Установлено, что алкапав обладает высокой антимикробной активностью (рисунок 2, *а*) по сравнению с другими вариантами ПАВ. При обработке взвеси микроорганизмов раствором с концентрацией 0,1% ПАВ значение КОЕ на 1 мл снижалось до 10 КОЕ, по сравнению с контролем (438 КОЕ/мл).

Для усиления антимикробных свойств исследуемых ПАВ в них, по специально разработанной методике, добавляли йод.

Иодированные формы ПАВ представляли собой исходный водно-спиртовой концентрат (до 70%) ПАВ (pH=8–10), смешанный с йодом в количестве 1–2% от содержания ПАВ.

Установлено, что в слабощелочном концентрате образуется соединение $R_4N^+(I^-H_2OI^+)OH^-$, обладающее высокой бактерицидностью за счет нейтрализации отрицательного заряда бактерий ионом йода I^+. Изучение антимикробных свойств иодированных форм ПАВ показало, что из всех рассмотренных соединений только иодированный алкапав обладает высокой антимикробной активностью (снижение количества КОЕ до 1 КОЕ/мл) (рисунок 2, *б*).

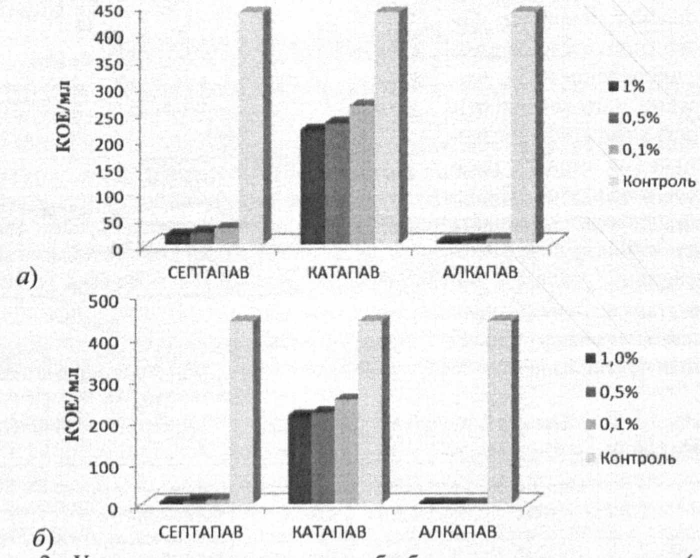


Рисунок 2 – Учет роста микроорганизмов, обработанных неиодированными (*а*) и иодированными (*б*) формами ПАВ

Иодированный септапав тоже показал хороший результат (снижение количества КОЕ до 11 КОЕ/мл), но из-за того, что растворителем септапава является этиленгликоль, который очень токсичен, применение септапава для дезинфекции воды невозможно. На основании проведенных исследований в качестве перспективного соединения для модифицирования органобентонита был отобран иодированный алкапав с наибольшей антимикробной активностью и структурой, позволяющей встраиваться в нанопространства сорбента.

Разработка технологии конструирования модифицированного сорбента

Для создания модифицированного сорбента была предложена технология, состоящая из четырех стадий: приготовление бактерицидного компонента, активация исходного органобентонита, гомогенизация до образования однородной массы, формообразование и рассев по фракциям (от 2 до 0,5 мм).

В качестве бактерицидного компонента использовались различные соединения, обладающие высокими антимикробными свойствами: 1%-й раствор йода; препарат вантоцил; ПАВ; иодированные формы ПАВ. Исследования показали, что при добавлении раствора йода и вантоцила к суспензии органобентонита происходит снижение их антимикробных свойств. Кроме того, гранулы, где в качестве бактерицидного компонента использовались растворы йода и вантоцила, имели низкие значения прочности.

Перспективными бактерицидными компонентами были ПАВ с четвертичным азотом. Исследования показали, что при добавлении ПАВ в суспензию органобентонита сохраняется их антимикробная активность, а их иодированные формы обладают наилучшими антимикробными свойствами.

Показатели прочности гранул, где в качестве бактерицидного компонента использовались иодированные формы ПАВ, соответствовали требованиям ГОСТа (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели прочности и антимикробной активности композиций органобентонита

	1%-й раствор йода	Вантоцил	Септапав	Алкапав	Катапав	Иодированный септапав	Иодированный алкапав	Иодированный катапав
Измельчаемость, %	6,6±0,2	8,1±0,2	2,6±0,2	1,3±0,2	3,0±0,2	1,7±0,2	2,0±0,2	2,5±0,2
Истираемость, %	0,76±0,1	0,84±0,1	0,30±0,1	0,22±0,1	0,33±0,1	0,22±0,1	0,21±0,1	0,27±0,1
E. coli, КОЕ	128	97	13	9	67	0	0	15

Активация исходного порошка органобентонита происходила в присутствии раствора NaOH с pH=9–10 на стандартном ленточно-шнековом прессе.

На стадии гомогенизации активированная суспензия органобентонита и бактерицидный компонент направлялись в смеситель марки «ТЛ – 020», где хорошо перемешивались в течение 20±5 минут.

На стадии формообразования полученной массе придавались требуемые форма и размер. Формообразование проводилось методом экструзии с помощью шнекового гранулятора «ФШ – 015». Технология формования заключалась в продавливании обрабатываемой массы через фильеру с расположенными на ней отверстиями диаметром 0,5 и 2 мм.

Исследования показали, что наиболее оптимальными условиями сушки готовых гранул является температура 85±5 °С, так как при повышении температуры происходило снижение антимикробных и сорбционных свойств гранулированного сорбента. Полученные гранулы в качестве сорбента использовали при проведении лабораторных и производственных испытаний.

Технология приготовления модифицированного варианта сорбента представлена на рисунке 3.

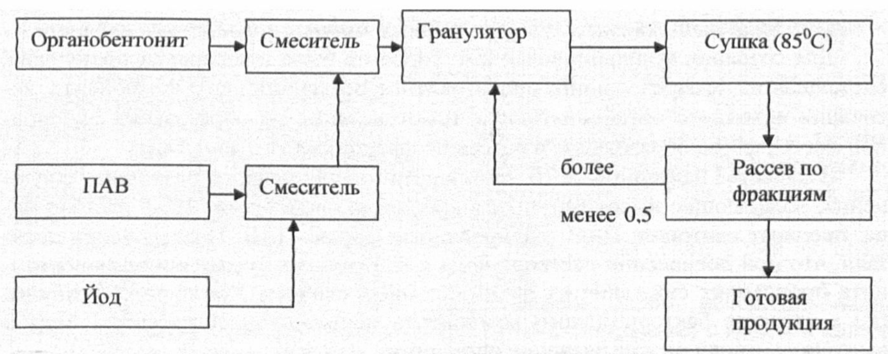


Рисунок 3 – Общая технологическая схема изготовления гранулированного сорбента на основе модифицированного органобентонита

Четвертый раздел посвящен исследованию кинетики и механизма процессов адсорбции ионов тяжелых металлов на полученном сорбенте.

Проведенные исследования процессов адсорбции (таблица 3) позволили установить, что наиболее характерным механизмом адсорбции ионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} является формирование смешанных слоев адсорбата на поверхности адсорбента с преобладанием мономолекулярной адсорбции, при которой взаимодействием между частицами адсорбата можно пренебречь.

Таблица 3 – Параметры интенсивности и эффективности процесса адсорбции ионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} на полученном сорбенте в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и БЭТ

Вид изотермы	Параметры изотермы		R^2	Формула
	Интенсивность	Эффективность		
Cd^{2+}				
Ленгмюр	$K_L = 5,52$	$\Gamma_\infty = 0,0025$	0,9949	$y = 70,667x + 24,902$
Фрейндлих	$n = 0,948$	$K_F = 251,19$	0,9595	$y = 1,0547x + 1,8384$
БЭТ	$K_{БЭТ} = 0,0039$	$\Gamma_\infty = 1,183$	0,9804	$y = 39,032x + 85,643$
Pb^{2+}				
Ленгмюр	$K_L = 0,3493$	$\Gamma_\infty = 0,0423$	0,8896	$y = 67,267x + 23,621$
Фрейндлих	$n = 0,871$	$K_F = 64,57$	0,9926	$y = 1,1476x + 1,8093$
БЭТ	$K_{БЭТ} = 0,0173$	$\Gamma_\infty = 1,860$	0,4876	$y = 26,676x + 31,028$
Cu^{2+}				
Ленгмюр	$K_L = 6,437$	$\Gamma_\infty = 0,0023$	0,9894	$y = 68,36x + 53,361$
Фрейндлих	$n = 1,111$	$K_F = 446,68$	0,9861	$y = 0,9004x + 1,9662$
БЭТ	$K_{БЭТ} = 0,036$	$\Gamma_\infty = 27,822$	0,5249	$y = 56,057x + 1,9531$

Параметры, характеризующие эффективность полученного сорбента как адсорбента по отношению к ионам Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}, систематизированы в таблице 4.

Определение энергии адсорбции, а также вида адсорбционного процесса ионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} на полученном сорбенте проводили в рамках подхода Дубинина-Радушкевича. Установлено, что в изучаемом температурном интервале значение средней свободной энергии адсорбции E соответствует диапазону 8÷16 кДж/моль (по Зеленцову и др., 2012) (таблица 5), что свидетельствует об адсорбции катионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} на полученном сорбенте по ионообменному механизму, то есть о хемосорбции.

Таблица 4 – Параметры, характеризующие эффективность полученного сорбента как адсорбента по отношению к ионам Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+}

Адсорбированный ион	*СОЕ*, мг-экв/г	K_d, мг/л	*S*, %
Cd^{2+}	811,34±60,22	0,081±0,007	85,83±1,03
Pb^{2+}	1763,272±31,81	0,134±0,010	90,93±0,69
Cu^{2+}	512,11±317,46	0,126±0,036	90,00±2,38

Таблица 5 – Значения энергии адсорбции *E* (кДж/моль) ионов Cd^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} на полученном сорбенте

Ион адсорбата	*E*, кДж/моль
Cd^{2+}	12,9±1,0
Pb^{2+}	11,2±0,9
Cu^{2+}	15,8±1,2

В пятом разделе представлены результаты лабораторных и производственных испытаний эффективности разработанного сорбента в отношении очистки загрязненных сточными водами природных вод Заволжья и Правобережья Саратовской области, а также сточных вод предприятий филиал ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский» и «Кирсановское ЛПУ». Проводили сравнительный анализ показателей лабораторно-аналитических исследований исходных проб воды поверхностных водоемов: г. Красноармейска и Красноармейского района (ручей «Ключи», Никитинский родник, река Голый Карамыш), а также г. Ершова и Ершовского района (река Малый Узень, пруд Советский, пруд Немецкий, пруд Новый, пруд Решетников) (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты лабораторно-аналитических исследований загрязненных вод поверхностных водоисточников Саратовской области

Источники отбора проб	Число КОЕ в 1 мл	Концентрация ионов Cd^{2+}, мг/л	Концентрация ионов Cu^{2+}, мг/л	Концентрация ионов Pb^{2+}, мг/л
Ручей «Ключи» (1)	110±8	0,334±0,027	0,269±0,022	97,29±7,78
Никитинский Родник (2)	10±0,8	0,232±0,019	0,356±0,028	17,99±1,44
Река Голый Карамыш (3)	120±10	2,65±0,212	0,398±0,032	84,78±6,78
Река Малый Узень (4)	136±11	2,394±0,192	0,4±0,032	113,40±9,07
Пруд Советский (5)	157±13	0,192±0,015	0,003±0,0002	75,60±6,05
Пруд Немецкий (6)	100±8	0,305±0,024	0,044±0,004	69,66±5,57
Пруд Новый (7)	105±9	0,141±0,012	0,436±0,035	73,98±5,92
Пруд Решетников (8)	115±9,2	0,318±0,025	0,376±0,030	77,64±6,21
ПДК	Не более 50	0,001	0,1	0,03

Установлены высокие значения концентраций ионов свинца для всех исследуемых проб воды; в некоторых пробах отмечено превышение допустимой концентрации ионов меди в 2–3 раза. Полученные данные свидетельствовали о наличии загрязнений химического характера в исследуемых водных объектах вследствие попадания сточных вод производств. Полученные данные позволили также сделать заключение, что по микробиологическому показателю практически все исследуемые источники, за исключением Никитинского родника г. Красноармейска, являются загрязненными, так как значения КОЕ/мл превышают допустимое значение в 2–3 раза.

Для оценки эффективности очистки загрязненных вод с использованием разработанного сорбента, была проведена фильтрация по 1 л всех проб воды через слой фильтрующих загрузок объемом 75 г в стеклянных колонках. В фильтрате из каждой колонки было определено: ОМЧ, содержание ионов тяжелых металлов (рисунок 4).

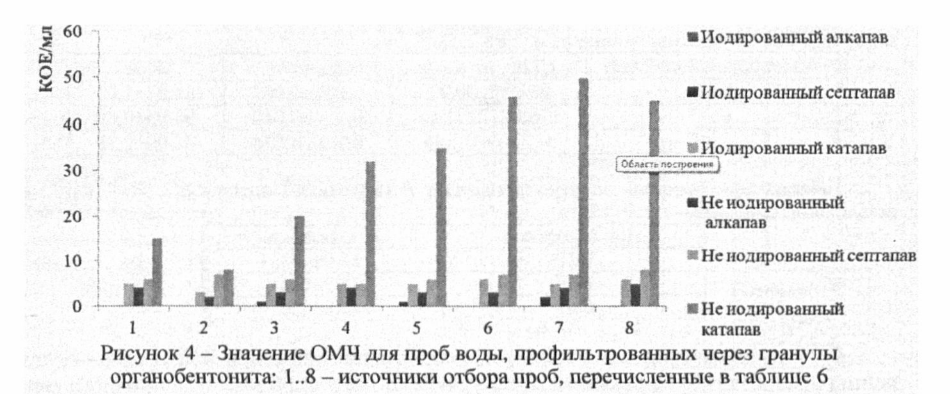


Рисунок 4 – Значение ОМЧ для проб воды, профильтрованных через гранулы органобентонита: 1..8 – источники отбора проб, перечисленные в таблице 6

Полученные данные позволили сделать заключение, что показатели ОМЧ для всех проб воды, профильтрованной через разработанные варианты сорбентов, снизились по сравнению с данными для исходных проб воды. Самым эффективным оказался вариант гранулированного сорбента на основе органобентонита, обработанного иодированным алкапавом.

Одновременно проводили лабораторно-аналитические исследования фильтратов проб воды исследуемых загрязненных поверхностных водоемов; сравнивали результаты, полученные при использовании в качестве фильтра вариантов гранулированного модифицированного органобентонита (рисунки 5, 6).

Концентрация С, мг/л

Иодированный алкапав
Иодированным септапав
Иодированный катапав
Не иодированный алкапав
Не иодированный септапав
Не иодированный катапав
ПДК

Рисунок 5 – Содержание кадмия в фильтратах проб поверхностных вод, очищенных с использованием вариантов гранулированного сорбента из органобентонита, модифицированного неиодированными и иодированными ПАВ: 1..8 – источники отбора проб, перечисленные в таблице 6

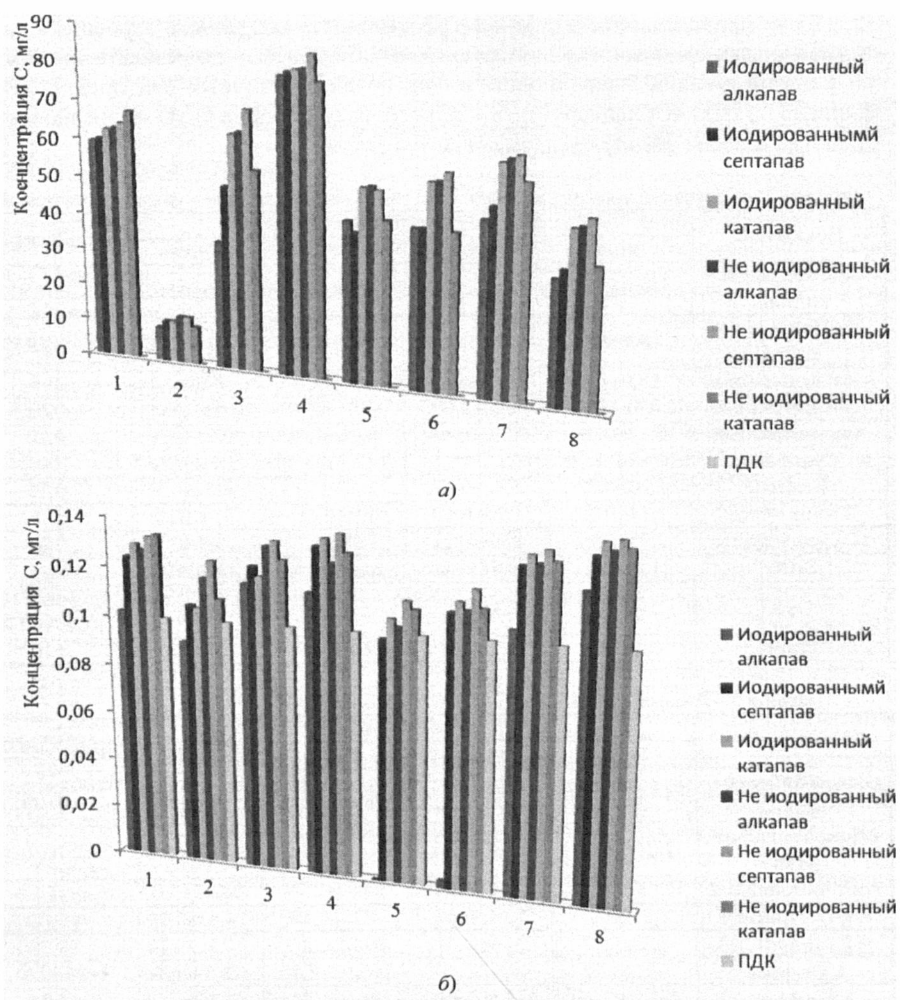


Рисунок 6 – Содержание свинца (*а*) и меди (*б*) в фильтратах проб поверхностных вод, очищенных с использованием вариантов гранулированного сорбента из органобентонита, модифицированного неиодированными и иодированными ПАВ: 1..8 – источники отбора проб, перечисленные в таблице 6

Полученные данные позволили сделать заключение, что концентрации ионов меди, свинца и кадмия для всех проб воды снизились по сравнению с исходными данными для не фильтрованной через сорбенты воды. Концентрация кадмия снизилась в среднем на 18%, меди – на 30%, свинца – на 58%.

Были проведены исследования эффективности созданного сорбента в системах очистки сточных вод на станции «ЛИССКОН-301» по результатам химико-аналитических и микробиологических анализов сточных вод предприятий филиал ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский» и ОАО «Кирсановское ЛПУ» до и после фильтрации (таблицы 7–10).

Таблица 7 – Анализ сточных вод филиала ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский»

Показатель	Сезон 2013 года				ПДК, мг/л
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Минеральный состав	662,0±53,0	666,4±53,3	717,4±57,4	696,6±55,7	667,8
Взвешенные вещества	64,0±5,1	56,8±4,5	47,2±3,8	47,4±3,8	70,9
Азот аммонийный	15,9±1,3	11,7±0,9	19,9±1,6	17,0±1,4	0,4
Азот нитритный	0,020±0,002	0,020±0,002	0,023±0,002	0,020±0,002	0,02
Азот нитратный	0,12±0,01	0,23±0,002	0,28±0,02	0,21±0,02	9,10
Сульфаты	109,54±8,76	105,71±8,46	123,70±9,90	107,84±8,63	100,0
Фосфаты	5,20±0,42	5,17±0,41	7,47±0,60	6,32±0,51	0,15
Железо общее	1,14±0,09	1,23±0,10	1,93±0,15	1,16±0,09	0,1
Нефтепродукты	2,35±0,19	2,43±0,19	2,57±0,21	2,41±0,19	0,05
$БПК_5$	21,42±1,71	25,48±2,04	23,51±1,88	23,30±1,86	2,0
ОКБ	$14,7 \cdot 10^7$	$23,4 \cdot 10^7$	$54,8 \cdot 10^7$	$33,5 \cdot 10^7$	не более 100 КОЕ/100 мл
ОМЧ	$23,9 \cdot 10^7$	$33,9 \cdot 10^7$	$64,5 \cdot 10^7$	$43,4 \cdot 10^7$	$< 10^4$

Таблица 8 – Анализ сточных вод ОАО «Кирсановское ЛПУ»

Показатель	Сезон 2013 года				ПДК, мг/л
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Взвешенные вещества	844,17±67,60	672,67±53,81	863,33±69,07	980,49±78,44	667,8
Минеральный состав	75,17±6,01	31,33±2,51	50,17±4,01	70,00±5,6	70,9
Азот аммонийный	27,83±2,23	13,90±1,11	34,87±2,79	38,35±3,07	0,4
Азот нитритный	1,33±0,11	8,44±0,68	1,28±0,10	4,82±0,39	0,02
Азот нитратный	2,30±0,18	5,09±0,41	20,25±1,62	1,31±0,10	9,10
Сульфаты	45,00±3,6	44,67±3,57	105,63±8,45	78,79±6,30	100,0
Фосфаты	121,03±9,68	113,80±9,10	84,0±6,72	88,53±7,08	0,15
Железо общее	1,86±0,15	1,85±0,15	2,76±0,22	2,54±0,20	0,1
Нефтепродукты	0,43±0,03	0,41±0,03	0,55±0,04	0,48±0,03	0,05
$БПК_5$	1,04±0,08	0,29±0,02	1,05±0,08	0,65±0,05	2,0
ОКБ	$17,6 \cdot 10^7$	$20,7 \cdot 10^7$	$69,1 \cdot 10^7$	$54,2 \cdot 10^7$	не более 100 КОЕ/100 мл
ОМЧ	$32,8 \cdot 10^7$	$34,1 \cdot 10^7$	$71,3 \cdot 10^7$	$68,7 \cdot 10^7$	$< 10^4$

Установлено, что в сточных водах предприятия по 8-ми показателям было превышено значение норматива ПДК, а именно: по нефтепродуктам – в 60 раз, по азоту аммонийному – в 45 раз, по фосфатам – в 40 раз.

При использовании на станции локальной очистки сточных вод разработанного гранулированного сорбента на основе органобентонита, модифицированного алкапавом, происходило снижение концентрации загрязняющих веществ, в том числе нефтепродуктов – на 95%, общего железа – на 57%, азотистых соединений – на 55%, фосфатов – на 52%, с одновременной полной дезинфекцией воды (таблицы 9, 10).

Таблица 9 – Анализ качества сточных вод на выходе с установки «ЛИССКОН-301» (филиал ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский»)

Показатель	Сезон 2014 года				ПДК, мг/л
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Минеральный состав	103,2±8,3	102,6±8,2	106,0±8,5	102,0±8,2	667,8
Взвешенные вещества	20,4±1,6	24,2±1,9	17,0±1,4	18,2±1,5	70,9
Азот аммонийный	0,040±0,003	0,043±0,003	0,045±0,004	0,044±0,003	0,4
Азот нитритный	0,0020± 0,0002	0,0020± 0,0002	0,0230± 0,0002	0,0240± 0,0002	0,02
Азот нитратный	0,013±0,001	0,003±0,0001	0,038±0,006	0,009±0,0001	9,1
Сульфаты	92,5±7,4	93,4±7,5	97,4±7,8	95,4±7,6	100,0
Фосфаты	0,10±0,01	0,11±0,01	0,14±0,01	0,13±0,01	0,15
Железо общее	0,020±0,002	0,010±0,008	0,010±0,008	0,020±0,002	0,1
Нефтепродукты	0,007±0,001	0,006±0,001	0,006±0,001	0,005±0,001	0,05
$БПК_5$	2,0±0,2	2,0±0,2	1,9±0,2	1,9±0,2	2,0
ОКБ	0	0	0	0	не более 100 КОЕ/100 мл
ОМЧ	0	0	0	0	$< 10^4$

Таблица 10 – Анализ качества сточных вод на выходе с установки «ЛИССКОН-301» (ОАО «Кирсановское ЛПУ»)

Показатель	Сезон 2014 года				ПДК, мг/л
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Минеральный состав	405,17±32,41	456,00±36,48	563,08±45,05	552,99±44,24	667,8
Взвешенные вещества	48,83±3,91	32,67±2,61	23,33±1,87	34,00±2,72	70,9
Азот аммонийный	0,28±0,02	0,21±0,02	0,39±0,03	0,40±0,03	0,4
Азот нитритный	6,62±0,53	7,64±0,61	8,93±0,71	6,77±0,54	0,02
Азот нитратный	0,01±0,001	0,01±0,001	0,02±0,001	0,01±0,001	9,1
Сульфаты	1,77±0,14	1,53±0,12	1,74±0,14	1,96±0,16	100,0
Фосфаты	89,29±7,14	88,78±7,14	94,0±7,52	85,60±6,85	0,15
Железо общее	0,12±0,01	0,14±0,02	0,15±0,02	0,14±0,02	0,1
Нефтепродукты	0,02±0,002	0,03±0,002	0,03±0,002	0,03±0,002	0,05
$БПК_5$	0,10±0,01	0,10±0,01	0,10±0,01	0,10±0,01	2,0
ОКБ	0	1	1	0	не более 100 КОЕ/100 мл
ОМЧ	0	0	2	0	$< 10^4$

Следовательно, внедрение разработанного сорбента позволит более эффективно проводить очистку сточных вод предприятий от нефтепродуктов, тяжелых металлов, других соединений и микроорганизмов. Это позволит обеспечить минимизацию антропогенного воздействия промышленного предприятия на водные объекты.

Таким образом, в результате проведенной работы были охарактеризованы свойства исходного наноструктурированного органобентонита; из изученных ПАВ отобран по антимикробным свойствам и структурным характеристикам иодированный алкапав с выраженными дезинфицирующими свойствами для модификации органобентонита. С помощью модельных подходов проанализирована структура слоев взаимодействия «адсорбент – адсорбат» для системы «модифицированный органобентонит – ионы тяжелых металлов» и показана хемосорбционная природа данного процесса.

Разработана технология получения комплексного модифицированного сорбента для очистки поверхностных и сточных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов и проведены его лабораторные испытания на модельных растворах приоритетных загрязнителей. Технико-экономическое обоснование предлагаемой технологии получения комплексного наноструктурированного сорбента с дезинфицирующими свойствами и производственные испытания подтвердили целесообразность его использования для очистки загрязненных поверхностных вод и сточных вод предприятий, что позволяет существенно снизить уровень антропогенного воздействия на гидросферу.

Предложенные рекомендации реализованы на малогабаритных станциях очистки сточных вод «ЛИССКОН-301».

Доказана эффективность использования разработанного модифицированного сорбента для очистки загрязненных поверхностных водных объектов Саратовской области и сточных вод предприятий, содержащих тяжелые металлы и нефтепродукты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлены физические (пористость – 32,4 %; плотность – 4,07 г/см^3), механические (пластичность – 37,6 %; прочность: измельчаемость – 2,0 %, истираемость – 0,21 %) и сорбционные характеристики органобентонита, модифицированного дезинфектантом. Доказано, что наиболее эффективным сорбентом является органобентонит, интеркалированный иодированным алкапавом с выраженными бактерицидными свойствами (снижение количества КОЕ до 1 КОЕ/мл).

2. Определены параметры, характеризующие эффективность адсорбции ионов тяжелых металлов модифицированным органобентонитом в статических:

– для Cd^{2+}: COE = 811,34 мг-экв/г, K_d = 0,081 мг/л, S = 85,83%;
– для Pb^{2+}: COE = 1763,27 мг-экв/г, K_d = 0,134 мг/л, S = 90,93%;
– для Cu^{2+}: COE = 512,11 мг-экв/г, K_d = 0,126 мг/л, S = 90,0%

и динамических условиях:

– для Cd^{2+}: DOE = 0,114 мг/г, K_d = 317,87 мг/л, S = 95,9%;
– для Pb^{2+}: DOE = 0,138 мг/г, K_d = 372,65 мг/л, S = 97,05%;
– для Cu^{2+}: DOE = 0,087 мг/г, K_d = 62,03 мг/л, S = 86,2%.

3. Разработана технология получения гранулированного сорбента на основе модифицированного органобентонита из четырех стадий: приготовление бактерицидного компонента, активация исходного органобентонита, гомогенизация, формообразование и рассев по фракциям (от 2 до 0,5 мм).

4. Проведены испытания эффективности разработанного сорбента для очистки загрязненных сточными водами поверхностных вод (на примере водных объектов Саратовской области). Показано снижение концентрации ионов Cd^{2+} на 18%, ионов Cu^{2+} – на 30%, ионов Pb^{2+} – на 58%, ионов NO_3^- – на 85% и полная дезинфекция воды (общее микробное число = 0).

5. Разработан метод комплексной очистки сточных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов с дезинфекцией, основанный на использовании модифицированного органобентонита в гранулированной форме. Доказано, что при загрузке в фильтрующие системы локальных станций очистки сточных вод полученного сорбента происходит снижение концентрации нефтепродуктов на 95%, тяжелых металлов – на 55%, общего железа – на 57%, азотистых соединений – на 55 %, фосфатов – на 52%, БПК – на 15%, с одновременной полной дезинфекцией воды (общее микробное число = 0).

6. Разработанный метод испытан в условиях реального производства на малогабаритных станциях очистки сточных вод «ЛИССКОН-301» в ООО «Научно-производственное предприятие «ЛИССКОН» (г. Саратов) и апробирован при очистке сточных вод предприятий филиал ГУП СО «Облводоресурс» – «Красноармейский» и ОАО «Кирсановское ЛПУ» от тяжелых металлов и нефтепродуктов с дезинфекцией.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Заматырина, В.А. Экологическое обоснование получения и применения биологически активных органобентонитов [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова, А.В. Кошелев, Е.А. Бойченко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 660–662.

2. Заматырина, В.А. Сравнение эффективности иодированных и неиодированных ПАВ как перспективных компонентов наноструктурированного сорбента [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 05 (21). – С. 149–152.

3. Заматырина, В.А. Инновационные методы очистки поверхностных и сточных вод с использованием наноструктурированных сорбентов [Текст] / Н.В. Веденеева, В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова, Т.В. Анохина, М.В. Истрашкина, С.В. Бобырев // Инновационная деятельность. – 2014. – № 4. – С. 27–31.

Публикации в других изданиях

4. Заматырина, В.А. Совершенствование системы очистки сточных вод г. Красноармейска [Текст] / В.А. Заматырина, А.А. Макарова // Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания: Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во Сарат. гос. тех. ун-та, 2011. – С. 163–165.

5. Заматырина, В.А. Технология получения биологически активного органобентонита и перспективы его использования [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова, А.В. Кошелев, Е.А. Бойченко // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25. Участники школы молодых ученых и программы «У.М.Н.И.К.»: Сб. тр. междунар. науч. конф. / Под общ. ред. А.А. Большакова. – Саратов: СГТУ, 2012. – С. 152–154.

6. Заматырина, В.А. Изучение биологической активности наноструктурированного органобентонита [Текст] / В.А. Заматырина, Е.А. Бойченко // Матер. всерос. конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области биологических наук: в 2 ч. / Под ред. Б.П. Чуракова.– Ульяновск: УлГУ, 2012. – Ч. 2. – С. 75–76.

7. Zamatyrina, V.A. Studying antimicrobial activity of some surfactants for their prospective use as the components of nanostructured sorbents / V.A. Zamatyrina, E.I. Tikhomirova, A.V. Koshelev // Ökologische, Technologische und Rechtliche aspekte der Lebensversorgung: Abstracts Das Internationale symposium. – Hannover: EWG, 2013. – S. 139–140.

8. Заматырина, В.А. Оценка экологической эффективности использования органобентонита в системе водоподготовки [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова, Е.А. Бойченко // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – Саратов: Наука и инновации, 2013. – № 6. – С. 977–978.

9. Заматырина, В.А. Перспективные компоненты наноструктурированного органобентонита [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова, Е.А. Бойченко // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: Тез. докл. Междунар. конф. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – С. 79.

10. Заматырина, В.А. Инновации в системе водоподготовки для решения экологических проблем водообеспечения Заволжья [Текст] / В.А. Заматырина, А.В. Кошелев, Е.В. Скиданов, А.А. Орлов, Е.И. Тихомирова // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. науч. тр. по матер. 6-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч.: в 2 т. – Саратов: СГТУ, 2013. – Т. 2. – С. 94–96.

11. Заматырина, В.А. Изучение фильтрующих свойств модифицированных органобентонитовых гранул в отношении санитарно-показательных микроорганизмов воды [Текст] / В.А. Заматырина, Н.В. Веденеева, О.В. Нечаева, Д.А. Заярский, Е.И. Тихомирова // Биотехнология: реальность и перспективы в сельском хозяйстве: Матер. междунар. науч.-практ. конф. «К 100 летию СГАУ им. Н.И.Вавилова». – Саратов: КУБиК, 2013. – С. 245–246.

12. Заматырина, В.А. Йод, как усилитель бактерицидных свойств ПАВ [Текст] / В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова // I Кавказский междунар. экологический форум: Сб. матер. – Грозный: Изд-во Чеченского госуниверситета, 2013. – Ч. 2. – С. 183–186.

13. Заматырина, В.А. Саратовский опыт реализации водной стратегии Российской Федерации по обеспечению питьевой водой сельского населения [Текст] / В.А. Заматырина, А.В. Кошелев, Е.В. Скиданов, Е.И. Тихомирова // I Кавказский междунар. экологический форум: Сб. матер. – Грозный: Изд-во Чеченского госуниверситета, 2013. – Ч. 2. – С. 123–125.

14. Заматырина, В.А. Инновационные технологии очистки сточных вод и доочистки питьевых вод с использованием наноструктурированных сорбентов [Текст] / В.А. Заматырина, Н.В. Веденеева, Е.И. Тихомирова, А.А. Синельцев // Восьмой Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций: каталог. – Саратов: Буква, 2013. – С. 375–377.

15. Zamatyrina, V.A. Experience water strategy implementation of the russian federation for the rural drinking water / V.A. Zamatyrina, A.V. Koshelev, E.V. Skidanov, E.I. Tikhomirova, T.V. Anohina // Ökologische, Technologische und

Rechtliche aspekte der Lebensversorgung: Abstracts das Internationale symposium. – Hannover: EWG, 2013. – S. 74.

16. Zamatyrina, V.A. Leistung jodiertes tenside für behandlung von häuslichem oder industriellem abwasser / V.A. Zamatyrina, A.V. Koshelev, E.I. Tikhomirova // Ökologische, Technologische und Rechtliche aspekte der Lebensversorgung: Abstracts das Internationale symposium. – Hannover: EWG, 2013. – S. 152–153.

17. Заматырина, В.А. Использование йодированных ПАВ для конструирования фильтрующих систем очистки бытовых сточных вод [Текст] / В.А. Заматырина // Человек, экология, культура: современные практики и проблемы: Сб. науч. тр. по матер. Междунар. молодежной науч. конф. – Саратов: СГТУ, 2014. – С. 265–267.

18. Заматырина, В.А. Перспективы использования наноструктурированного органобентонита, обработанного йодированным ПАВ для очистки сточных вод от микробного загрязнения [Текст] / В.А. Заматырина, А.В. Кошелев, Е.И. Тихомирова // Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России: Матер. II всерос. конф. – М., 2014. – С. 82.

19. Заматырина, В.А. Перспективы использования бентонитовых глин в качестве сорбента для очистки сточных вод [Текст] / В.А. Заматырина, М.В. Истрашкина // Создаём идеи и строим будущее: Матер. науч.-практ. интернет-конф. – Саратов: СГТУ, 2014. – С. 92.

20. Заматырина, В.А. Разработка комбинированной фильтрующей системы на основе наноструктурированных сорбентов и биополимера для задач очистки поверхностных и сточных вод [Текст] / Е.И. Тихомирова, Н.В. Веденеева, В.А. Заматырина, О.В. Нечаева, А.В. Кошелев, Е.В. Скиданов // Международная конференция по вопросам водопользования и экологии в рамках участия РФ в БРИКС: Тез. докл. – М., 2014. – С. 27–28.

21. Заматырина, В.А. Опыт реализации водной стратегии РФ по обеспечению питьевой водой сельского населения Заволжья Саратовской области [Текст] / Е.В. Скиданов, Е.И. Тихомирова, А.В. Кошелев, Н.В. Веденеева, В.А. Заматырина, Т.В. Анохина // Международная конференция по вопросам водопользования и экологии в рамках участия РФ в БРИКС: Тез. докл. – М., 2014. – С. 35–37.

22. Заматырина, В.А. Опыт использования наноструктурированных сорбентов КГНС в системах очистки воды серии «ЛИССКОН» для водоснабжения сельского населения Заволжья Саратовской области [Текст] / Е.В. Скиданов, Е.И. Тихомирова, А.В. Кошелев, В.А. Заматырина, Н.В. Веденеева, Т.В. Анохина // Крым Hi-tech – 2014: Сб. тез. докл. Междунар. форума. – Севастополь, 2014. – С. 19–21.

23. Zamatyrina, V.A. Mathematical modeling of heavy metals adsorption on organobentonite / A.V. Kosarev, V.A. Zamatyrina, E.I. Tikhomirova// Ökologische, Technologische und Rechtliche aspekte der Lebensversorgung: Abstracts das Internationale symposium. – Hannover: EWG, 2014. – S. 86–87.

24. Заматырина, В.А. Математическая модель адсорбции тяжелых металлов на органобентоните / А.В. Косарев, В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова // Вавиловские чтения – 2014: Сб. статей междунар. науч.-практ. конф., посвященной 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: Буква, 2014. – С. 290–291.



ЗАМАТЫРИНА Валентина Алексеевна

МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОБЕНТОНИТА

Специальность 03.02.08 – экология (в химии и нефтехимии)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Редактор Л.Ю. Горюнова
Корректор А.Ю. Тощева
Компьютерная верстка Т.А. Антиповой

Сдано в производство 13.02.15. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Уч.-изд л.1,18. Усл. печ. л. 1,16. Заказ № 2546. Тираж 100

Пензенский государственный технологический университет
440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11